

# 飞行保障过程中车辆调度建模与仿真

方绍强<sup>1</sup>, 卫克<sup>1,2</sup>, 陈伟鹏<sup>1,2</sup>, 赵尚弘<sup>1</sup>, 石磊<sup>1</sup>

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077; 2. 空军后勤部, 北京 100720)

**摘要:**在分析建模与仿真技术在航空兵场站飞行保障中潜在应用的基础上,利用离散事件仿真(DES)方法建立了飞行保障过程中主动保障方式和被动保障方式下的两种车辆调度模型,并利用 ARENA 软件对所建模型的一个实例进行了仿真。仿真结果表明:网络化条件下的主动保障方式的单机保障时间比传统的被动保障方式的单机保障时间缩短 3.25 min,保障效率提高 10.6%。

**关键词:**飞行保障;建模;仿真;车辆调度;仿真策略

**中图分类号:** TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)01-0018-04

航空兵场站飞行保障具有指挥调控复杂、时效性强、决策难度大、不确定因素多等特点,同时航空兵作战对航空兵场站的保障技术和手段提出了更高的要求<sup>[1-2]</sup>。建模与仿真技术<sup>[3]</sup>通过再现实际的保障流程、测试保障策略、评估保障资源的调度与分配,可为场站指挥提供科学的推断,为快速、高效地决策提供保证。国外空军在后勤保障仿真方面已开发出 ALS、SIMFORCE、LogSam 以及 LCOM 等模型<sup>[4]</sup>,广泛应用于实际的保障中,极大地提高了保障效能。国内对飞行保障过程的建模与仿真,大多是面向空勤和机务大队的<sup>[5-6]</sup>,对航空兵场站飞行保障过程还没有从整体上进行研究。

计算机仿真技术运用于场站飞行保障,可以通过对场站飞行保障方案的模拟仿真,对各类后勤保障物资的消耗、补充与调整进行预测。在未来战场状况不确定的情况下,利用计算机模拟,科学拟订各种预案,并提供多种决策预案的仿真结果,以验证其可靠程度和科学性。分析航空兵场站的飞行保障流程,找出影响飞行保障效能的瓶颈,探索优化飞行保障流程的方法,这对后勤保障有着重要意义。

场站在飞行保障过程中包含多种保障车辆,为满足飞行保障适时、适地、适量的要求,需要对保障车辆的行进路线、时间节点进行调度。车辆调度是飞行保障过程中动态变化最大的环节,很难用解析法描述车辆行进的全过程。利用仿真技术可以建立车辆调度模型,并用三维视景技术将车辆运行态势、物资供应等情况再现出来。采用最优化理论和方法能够对配送路线进行分析,建立相应的数学模型,进行计算机仿真,对调度策略进行检验和评价,得出最优调度方案。

## 1 车辆调度模型设计

飞行保障过程中车辆调度是指航空兵场站在飞行保障过程中,场站指挥员对担负战斗或训练任务的飞机的保障需求做出积极响应,合理调度各种保障车辆(如加油车、充氧车、充氮车以及空调车等)对飞机进行及时保障,使飞机能够快速起飞(或再次起飞)执行任务。

### 1.1 模型功能

当前航空兵场站由于通信手段限制,场站不能及时获知飞机的保障需求,机务人员也不能够及时掌握场站保障资源的占用情况。航空兵场站的保障人员只能通过对讲机获知机务人员的保障需求,不能够有针对性地做好预先准备,只能实施被动保障。

为了提高航空兵场站飞行后勤保障效能,通过综合运用计算机技术、通信网络技术、信息处理技术和自动控制技术,全面整合场站保障信息、保障资源。将现有场站改造成资源动态可视、保障信息实时传递、指挥

收稿日期:2007-07-10

作者简介:方绍强(1978-),男,山东惠民人,博士生,主要从事系统建模与仿真研究. E-mail:fangsq@gmail.com

控制智能高效、保障作业快速精确的数字化场站。数字化场站网络化的保障条件下,保障指挥员通过飞行保障指挥网络,可以实现对保障资源、保障进程的实时掌控;通过先进的指挥控制系统,可以对保障现场实施及时主动的指挥调度;通过系统内嵌的辅助决策软件,可以满足战时多机种、高强度持续保障的需要。

场站飞行保障过程中车辆调度模型的功能是,对传统的被动保障方式和数字化场站网络化条件下的主动保障方式的车辆调度分别进行建模与仿真。模拟航空兵场站的各种保障车辆实施保障的情况,并对其保障效能进行评估和分析,为航空兵场站飞行保障提供决策支持。

以下将分别对传统被动保障方式和数字化场站网络化条件下主动保障方式的车辆调度分别进行建模。

### 1.2 开发环境

ARENA 是美国 System Modeling 公司于 1993 年开始研制开发的新一代可视化通用交互集成仿真环境。基于 SIMAN /CINEMA 发展起来的 ARENA,很好地解决了计算机仿真环境与可视化技术的有机集成,兼备高级仿真器(simulators)易用性和专用仿真语言柔性(flexibility)的优点,并且还可以与通用过程语言,如 Visual Basic, Fortran 和 C/C++ 等编写的程序连接运行<sup>[7-9]</sup>。航空兵场站飞行保障仿真系统是离散动态系统,而仿真软件 ARENA 对这类系统有良好的适应性。因此用 ARENA 软件对航空兵场站飞行保障过程来建模是合理的。

### 1.3 模型设计

利用离散事件仿真(DES)的方法<sup>[10-12]</sup>所建立的车辆调度模型均由 4 个模块组成(见图 1):

- 待保障飞机到达模块(Plane Arrive);
- 仿真策略模块(Simulation Strategy);
- 保障过程模块(Support Process);
- 统计接收模块(Receiver)。

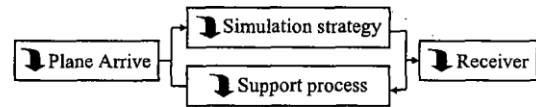


图 1 车辆调度模型  
Fig. 1 Model of vehicle schedule

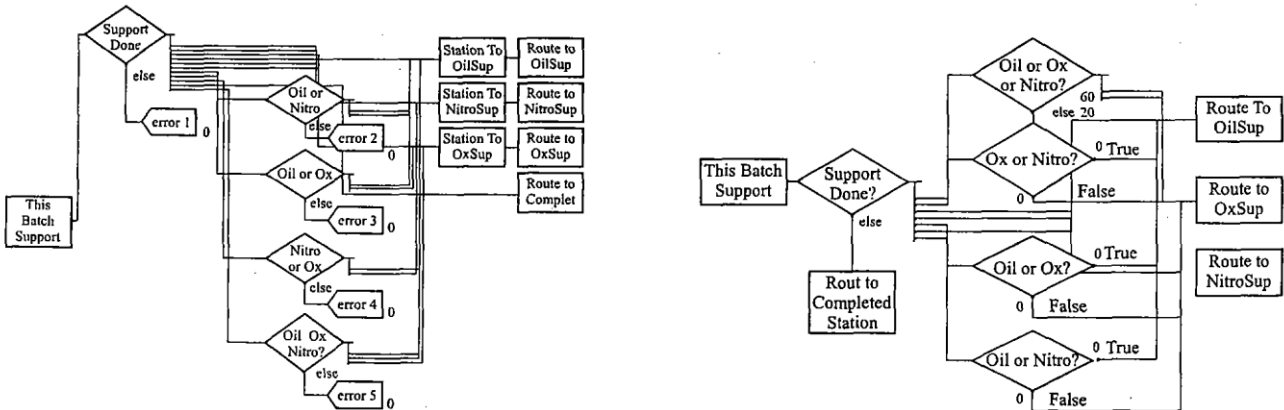
图 1 中 Plane Arrive 到达模块的作用是产生或者接收降落的飞机实体,确定需要保障的类型,传送到仿真策略模块。

图 1 中 Simulation Strategy 模块的作用是对某一时刻到达的飞机实体,进行保障资源的调度,确定由哪种车辆前去保障。网络化条件下的主动保障方式与传统条件下的被动保障方式的车辆调度策略是不相同的。

进一步分析有:

图 2(a)为网络化条件下的主动保障方式车辆调度策略:①待保障飞机到达模块或保障过程模块将待保障的飞机实体传送到时,仿真策略模块首先判断飞机的保障状态,明确哪种保障活动已经执行,哪种保障活动还没有执行,如果全部保障活动被执行,则运行③;②检测没有执行的保障活动对应的保障车辆,如果有空闲的车辆,则派该车前去实施该保障活动,如果没有则加入保障过程模块中等待时间最少的队列,等待保障;③将保障完毕的飞机实体传送到统计接收模块。

图 2(b)为传统的被动保障方式车辆调度策略:①待保障飞机到达模块或保障过程模块将待保障的飞机实体传送到时,仿真策略模块首先判断飞机的保障状态,明确哪种保障活动已经执行,哪种保障活动还没有执行,如果全部保障活动被执行,则运行③;②检测没有执行的保障活动,按概率加入保障过程模块中的保障队列,实施或等待保障;③将保障完毕的飞机实体传送到统计接收模块。



(a) 网络化条件下的主动保障方式保障策略 (b) 传统的被动保障方式保障策略

图 2 主动保障和被动方式的保障策略

Fig. 2 Simulation strategies of active support and passive support

图 1 Support Process 模块的作用是按照保障策略模块的调度对飞机进行保障,飞行保障活动完成,将待保障飞机传送到保障策略模块。

图 1 Receiver 模块的作用是统计各个飞机的保障时间和飞机平均等待时间,直到所有飞机的所有保障活动全部执行,仿真结束。利用统计指标可以对比不同的车辆调度策略的性能,还可以评估车辆利用率和平均队列长度。

## 2 仿真实例

以保障空军某型作战飞机的一次出动训练任务的保障任务为例(保障 6 架飞机,6 个飞行批次),其初始参数设置见表 1。

表 1 仿真模型初始参数  
Tab. 1 Initialized parameters of the simulation model

车辆	加油车	充氧车	充氮车	空调车
数量	3	1	1	3
单次保障活动的时间分布/min	TRIA(10,15,20)	TRIA(3,4,5)	TRIA(3,4,5)	TRIA(5,7,10)

由于保障工作的性质,飞机在进行通风的同时可以同时同时进行加油、充氮以及充氧中的一种保障,对加油、充氮以及充氧保障活动开展的先后顺序没有严格限制。

分别采用网络化条件下主动保障和当前实际的被动保障两种车辆调度策略对其仿真,主要以飞行保障过程中单架飞机保障时间(SupportTime)以及平均保障时间(WaitTime)为指标,衡量两种车辆调度策略。仿真程序按照两种保障策略分别运行 50 次,在主动保障方式下图 3(a),单机保障时间在 20.68 min - 37.94 min 之间,平均保障时间为 27.48 min。在被动保障方式下图 3(b),单机保障时间在 20.11 min - 43.46 min 之间,平均保障时间为 30.73 min。单机保障时间缩短 3.25 min,保障效率提高 10.6%。

## 3 结束语

本文利用 ARENA 软件对模型进行了仿真,对网络化的保障策略与当前实际运用的保障策略进行了比较。网络化条件下的主动保障方式的保障时间可以比传统的被动保障方式的保障时间缩短 3.25 min,保障效率提高 10.6%。这说明通过改造飞行保障过程流程,可以较大提高场站的保障效能。将计算机仿真技术运用于航空兵场站的飞行保障中,对深入研究航空兵场站飞行保障起着积极的作用,也将大大提高飞行保障指挥调度的科学化、现代化水平。

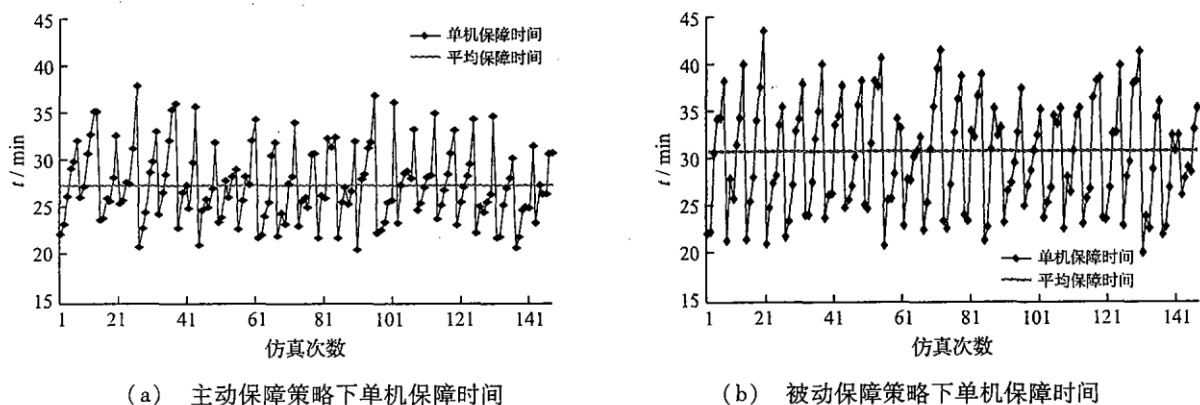


图 3 两种保障策略下单机保障时间

Fig. 3 Single plane's support time under two support strategies

### 参考文献:

- [1] 卫克,陈伟鹏,赵尚弘. 基于信息技术的空军航空兵数字化场站建设探索研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2006, 20(2): 58-62.

WEI Ke, CHEN Weipeng, ZHAO Shanghong. Research of Digital Airfield Station Build Based on the Information Technology

- [J]. *Military Operations Research and Systems Engineering*, 2006, 20(2): 58 - 62. (in Chinese)
- [ 2 ] 方绍强,陈伟鹏,卫克,等.基于HLA的航空兵场站飞行保障视景仿真系统设计[J].*空军工程大学学报:自然科学版*,2007,8(1):7-10.  
FAMG Shaoqiang, CHEN Weipeng, WEI Ke, et al. Design of Air Force Station Fight Support Visual Simulation System Based on HLA [J]. *Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition*, 2007, 8(2): 7 - 10. (in Chinese)
- [ 3 ] 齐欢,王小平.系统建模与仿真[M].北京:清华大学出版社,2004.  
QI Huan, WANG Xiaoping. *System Modeling and Simulation*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004. (in Chinese)
- [ 4 ] Paul D Faas. *Simulation of Autonomic Logistics System (ALS) Sortie Generation*[D]. USA: Air Force Institute of Technology, 2003.
- [ 5 ] 刘喜春,王强,李群,等.飞机编队飞行保障系统的建模与仿真[J].*系统仿真学报*,2006,18(1):5-8.  
LIU Xichun, WANG Qiang, LI Qun, et al. Modeling and Simulation for Flight and Maintenance of Aircraft Fleet[J]. *Journal of System Simulation*, 2006, 18(1): 5 - 8. (in Chinese)
- [ 6 ] 黄永平,谈贵军,尚振锋.航空兵场站油料库存控制仿真模型[J].*系统仿真学报*,2005,17(8),1805-1808.  
HUANG Yongping, TAN Guijun, SHANG Zhenfeng. The Simulation Model on Aviation Fuel Inventory Control at Air Force Base [J]. *Journal of System Simulation*. 2005, 17(8), 1805 - 1808. (in Chinese)
- [ 7 ] Yen Ping, Leow Sehwal, Ricki G. Qualitative Discrete Event Simulation[J]. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, 2005: 648 - 653.
- [ 8 ] Maurizio Bielli, Azedine Boulmakoul, Mohamed Rida. Object Oriented Model for Container Terminal Distributed Simulation European[J]. *Journal of Operational Research*, 2006 (175): 1731 - 175.
- [ 9 ] Ebben M J R, van der Heijden M C, van Harten A. Dynamic transport scheduling under multiple resource constraints [J]. *European Journal of Operational Research*, 2005 (167): 320 - 335.
- [ 10 ] Rockwell Software Inc. *Arena User's Guide*[M]. [S. l.]: Rockwell Software Inc, 2005.
- [ 11 ] David Kelton W, Randall P Sadowski, David T Sturrock. *Simulation with Arena*, 3rd ed[M]. New York: McGraw - Hill, 2003.
- [ 12 ] Deborah Sadowski, Vivek Bapat. *The Arena Product Family: Enterprise Modeling Solutions*[J]. *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 1999: 163 - 169.

(编辑:姚树峰)

## Modeling and Simulation of Vehicle Schedule in Flight Supporting Process

FANG Shao - qiang<sup>1</sup>, WEI Ke<sup>1,2</sup>, CHEN Wei - peng<sup>1,2</sup>, ZHAO Shang - hong<sup>1</sup>, SHI Lei<sup>1</sup>

(1. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China; 2. Logistics Department of Air Force, Beijing 100720, China)

**Abstract:** The potential applications of modeling and simulation on flight supporting process are proposed. Using discrete event simulation (DES) method, the vehicle schedules in Airfield Station Flight Supporting in both active and passive supporting mode are modeled and simulated, based on which, an illustration is given on simulation platform ARENA. According to the simulated results, support time of active supporting mode under network situation can be reduced by 3.25 minutes compared with the traditional passive supporting mode, and the supporting efficiency is improved by 10.6%.

**Key words:** flight supporting process; modeling; simulation; vehicle schedule; simulation strategy